

5

---

**Verfahren zum Bestimmen des Frequenzganges eines  
elektrooptischen Bauelements**

---

10

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Bestimmen des Frequenzganges eines elektrooptischen Bauelements, insbesondere beispielsweise eines lichterzeugenden oder lichtmodulierenden Bauelements, anzugeben, das sich sehr einfach durchführen lässt.

15

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in Unteransprüchen angegeben.

20

Danach ist erfindungsgemäß ein Verfahren vorgesehen, bei dem optische Pulse mit einer ersten optischen Trägerfrequenz und mit einer vorgegebenen Pulsfrequenz erzeugt werden. Das elektrooptische Bauelement, dessen Frequenzgang zu bestimmen ist, wird mit einem elektrischen Messsignal mit einer vorgegebenen Messfrequenz derart angesteuert, dass es ein mit der Messfrequenz moduliertes, optisches Ausgangssignal mit einer vorgegebenen zweiten optischen Trägerfrequenz bildet. Die Messfrequenz ist dabei derart gewählt, dass sie ein ganzzahliges Vielfaches der Pulsfrequenz der optischen Pulse zuzüglich eines vorgegebenen Frequenzversatzes beträgt. Die optischen Pulse und das optische Ausgangssignal werden gemeinsam einer Frequenzmischung unterzogen, wobei von den bei der Frequenzmischung gebildeten optischen Mischprodukten zumindest ein Mischprodukt detektiert wird, dessen Modulationsfrequenz dem vorgegebenen Frequenzversatz entspricht. Das Frequenzverhalten des elektrooptischen Bauelements wird anschließend anhand der Größe, insbesondere der Leistung, der Amplitude oder des Effektivwerts, des ausgewählten Mischprodukts ermittelt. Die Detektion des Mischprodukts und die Bestimmung des Frequenzverhaltens des

35

40

elektrooptischen Bauelements wird nacheinander für alle Messfrequenzen durchgeführt, die einem ganzzahligen Vielfachen der Pulsfrequenz der optischen Pulse zuzüglich dem vorgegebenen Frequenzversatz entsprechen und die  
5 innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbandes, innerhalb dessen das Frequenzverhalten des elektrooptischen Bauelements bestimmt werden soll, liegen.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens  
10 besteht darin, dass es sehr einfach durchgeführt werden kann, da beispielsweise ein zum Erzeugen der optischen Pulse eingesetzter Pulslaser stets nur mit ein und derselben Pulsfrequenz angesteuert werden muss. Da mit dem Pulslaser Pulse erzeugt werden, weist das Frequenzspektrum des vom  
15 Pulslaser erzeugten optischen Ausgangssignals ein sehr breites Frequenzspektrum auf, das bis in den Bereich von bis zu mehreren 100 GHz reicht. Das Frequenzspektrum des Pulslasers besteht dabei aus einem Frequenzkamm mit einem Linienabstand, der der Pulsfrequenz entspricht. Mit anderen  
20 Worten besteht das Leistungsspektrum der Laserpulse aus Linien mit Frequenzen  $n \cdot f_p$  ( $f_p$ : Pulsfrequenz), wobei  $n$  eine ganze Zahl bezeichnet. Jede der Spektrallinien des Frequenzkamms weist dabei eine Intensität  $R_n$  auf. Das Frequenzspektrum des elektrooptischen Bauelements lässt sich  
25 nun für alle Messfrequenzen bestimmen, die einem ganzzahligen Vielfachen der Pulsfrequenz zuzüglich einem vorgegebenen Frequenzversatz (z. B. 1 kHz) entsprechen. Bei einem Mischen der von dem Pulslaser und dem elektrooptischen Bauelement erzeugten optischen Signale tritt u. a. ein  
30 Signal mit einer Modulationsfrequenz auf, die dem vorgegebenen Frequenzversatz entspricht. Durch Messen zumindest eines Mischprodukts, dessen Modulationsfrequenz dem Frequenzversatz entspricht, kann somit für jede Messfrequenz das Frequenzverhalten des elektrooptischen  
35 Bauelements festgestellt werden.

Zusammengefasst weist das erfindungsgemäße Verfahren also den Vorteil auf, dass der Frequenzgang des elektrooptischen

Bauelements für verschiedene Messfrequenzen bestimmbar ist, obwohl stets nur eine Messgröße mit ein und derselben Modulationsfrequenz, nämlich mit dem vorgegebenen Frequenzversatz, ausgewertet werden muss.

5

Der vorgegebene Frequenzversatz, der die zu detektierenden Mischprodukte definiert, kann einen positiven oder negativen Betrag aufweisen. Dies bedeutet, dass als Messfrequenz eine Frequenz gewählt werden kann, die ein ganzzahliges Vielfaches der Pulsfrequenz der optischen Pulse zuzüglich oder abzüglich eines vorgegebenen (positiven) Frequenzversatzes betragen kann.

Von den Mischprodukten werden bevorzugt ausschließlich diejenigen detektiert, die als optische Trägerfrequenz die Summenfrequenz aus der ersten und der zweiten optischen Trägerfrequenz aufweisen.

Alternativ, aber ebenfalls bevorzugt, werden von den Mischprodukten ausschließlich diejenigen detektiert, die als optische Trägerfrequenz die Differenzfrequenz aus der ersten und der zweiten optischen Trägerfrequenz aufweisen.

Um eine besonders hohe Messgenauigkeit zu erreichen, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Spektrallinienstärken der optischen Pulse vorab bestimmt und beim Ermitteln des Frequenzverhaltens des elektrooptischen Bauelements berücksichtigt werden. Die „Spektrallinienstärken“ können z. B. durch Fouriertransformation der Autokorrelation der optischen Pulse ermittelt sein.

Beim Ermitteln des Frequenzverhaltens des elektrooptischen Bauelements wird von den vorab bestimmten Spektrallinienstärken der optischen Pulse bevorzugt die Spektrallinienstärke jeweils derjenigen Spektrallinie berücksichtigt, deren Spektrallinienfrequenz der Differenzfrequenz zwischen der jeweiligen Messfrequenz und dem vorgegebenen Frequenzversatz entspricht.

Die Spektrallinienstärken der optischen Pulse können in besonders einfacher Weise und damit vorteilhaft berücksichtigt werden, indem ein die Intensität des ausgewählten Mischprodukts angegebender Mischproduktintensitätswert durch einen Spektrallinienwert geteilt wird, der die Spektrallinienstärke der zum ausgewählten Mischprodukt gehörenden Spektrallinie der optischen Pulse angibt. Durch diese Division wird jeweils ein Frequenzgangwert des elektrooptischen Bauelements gebildet.

Zum Bilden der optischen Mischprodukte wird bevorzugt ein nichtlineares Element eingesetzt, durch das die optischen Pulse und das optische Ausgangssignal hindurchgestrahlt werden.

Alternativ kann zum Bilden und/oder Detektieren der optischen Mischprodukte beispielsweise auch ein 2-Photonendetektor eingesetzt werden.

Außerdem kann zum Bilden und/oder Detektieren der optischen Mischprodukte auch ein optischer Gleichrichter, insbesondere beispielsweise ein nichtlinearer Kristall, verwendet werden.

Die Messfrequenz kann vorzugsweise gemäß folgender Bestimmungsgleichung berechnet werden:

$$f_{\text{mess}} = m * f_p + \Delta f$$

wobei  $f_{\text{mess}}$  die Messfrequenz,  $\Delta f$  den Frequenzversatz und  $f_p$  die Pulsfrequenz bezeichnen.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann beispielsweise der Frequenzgang eines aus einer Lichtquelle, insbesondere einem Laser (z. B. einem un gepulsten CW-Laser) oder einer Leuchtdiode, und einem Modulator gebildetes elektrooptisches Bauelement bestimmt werden. Bei dem Modulator kann es sich

beispielsweise um einen ansteuerbaren Modulator, also beispielsweise einen elektrooptischen, elektroakustischen oder dergleichen Modulator, handeln. Wird als Lichtquelle ein ungepulster Laser verwendet, so wird bei der  
5 Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in erster Linie der Frequenzgang des Modulators gemessen.

Außerdem kann in vorteilhafter Weise gleichzeitig der Frequenzgang eines opto-elektronischen Wandlers bestimmt  
10 werden, indem das von dem elektrooptischen Bauelement erzeugte optische Ausgangssignal in den optoelektrischen Wandler eingestrahlt wird, ein vom dem optoelektrischen Wandler erzeugtes elektrisches Wandlersignal unter Bildung eines Wandlermesswerts gemessen wird und unter Heranziehung  
15 des Wandlermesswertes und des gemessenen Frequenzganges des elektrooptischen Bauelements der Frequenzgang des optoelektrischen Wandlers bestimmt wird.

Der Frequenzgang des optoelektrischen Wandlers kann dabei  
20 besonders einfach und damit vorteilhaft abgeleitet werden, indem der Wandlermesswert durch einen Frequenzgangwert des elektrooptischen Bauelements geteilt wird.

Bevorzugt werden die Pulsfrequenz der optischen Pulse mit  
25 einem Pulsgenerator und die Messfrequenz des Messsignals mit einem Sinusgenerator erzeugt, wobei die beiden Generatoren synchronisiert sind, beispielsweise phasenstarr gekoppelt sind.

Im Übrigen kann gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens zusätzlich der Phasengang des elektrooptischen Bauelements gemessen werden. Hierzu wird vorzugsweise ein Phasensignal erzeugt, das die Phasendifferenz zwischen dem Ansteuersignal des PulsLasers und dem elektrischen  
35 Messsignal angibt. Die Phasenlage zwischen dem erzeugten Phasensignal und dem detektierten Mischprodukt wird anschließend für jede der Messfrequenzen jeweils unter Bildung eines Phasenmesswertes gemessen.

In entsprechender Weise kann auch der Phasengang des opto-elektrischen Wandlers gemessen werden.

5 Der Erfindung liegt darüber hinaus die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung anzugeben, mit der sich der Frequenzgang eines insbesondere lichterzeugenden oder lichtmodulierenden elektrooptischen Bauelements in sehr einfacher Weise bestimmen lässt.

10

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Anordnung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 20 gelöst.

15

Bezüglich der Vorteile der erfindungsgemäßen Anordnung wird auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen.

Zur Erläuterung der Erfindung zeigen:

20

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist,

25

Figur 2 ein zweites Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Anordnung, bei der zusätzlich der Phasengang eines elektrooptischen Bauelements bestimmbar ist, und

30

Figur 3 ein drittes Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Anordnung.

35

In der Figur 1 erkennt man eine elektrische Hochfrequenzquelle 10 (z. B. Pulsgenerator), die einen Pulslaser 20 ansteuert. Der Pulslaser 20 ist mit einem Lichtwellenleiter 30 mit einem nichtlinearen Kristall 40 verbunden, an den ausgangsseitig ein Fotodetektor 50 angekoppelt ist. Der nichtlineare Kristall 40 steht mittels eines weiteren Lichtwellenleiters 55 mit einem

elektrooptischen Bauelement 60 in Verbindung, bei dem es sich beispielsweise um eine Leuchtdiode oder einen Laser handeln kann.

- 5 Die elektrische Ansteuerung des elektrooptischen Bauelements 60 erfolgt durch eine zweite elektrische Hochfrequenzquelle 70 (z. B. Sinusgenerator), die mit der ersten elektrischen Hochfrequenzquelle 10 mittels einer Synchronisationsleitung 80 verbunden ist. Über die Synchronisationsleitung 80 wird  
10 ein Synchronisationssignal FT übertragen. Das Synchronisationssignal FT kann beispielsweise eine Frequenz von einem 10 MHz aufweisen.

Die Anordnung gemäß der Figur 1 wird wie folgt betrieben:

- 15 Der Laser 20, bei dem es sich beispielsweise um einen phasenrauscharmen Kurzpulslaser handeln kann, wird durch die erste elektrische Hochfrequenzquelle 10 mit einem Ansteuersignal SA derart angesteuert, dass der Laser 20  
20 kurze Laserpulse mit einer Wiederholrate  $f_p$  erzeugt. Das Leistungsspektrum dieser optischen Laserpulse besteht damit aus einem Frequenzkamm mit einem Linienabstand  $f_a$  mit  $f_a = f_p$ , d.h. also aus Spektrallinien mit Frequenzen  $n \cdot f_p$ , wobei  $n$  eine ganze Zahl bezeichnet. Die Spektrallinien mit den  
25 Frequenzen  $n \cdot f_p$  weisen jeweils die Intensität  $I_n$  auf.

- Die Halbwertsbreite der Laserpulse wird dabei so gewählt, dass bei der maximal erforderlichen Messfrequenz zum Charakterisieren des elektrooptischen Bauelements 60  
30 innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbandes noch eine genügend starke Spektrallinie übrig ist bzw. existiert. Dies ist jedoch bis zu Frequenzen von mehreren 100 GHz problemlos möglich, da sich mit kommerziell erhältlichen Pulslasern entsprechend kurze Pulse ohne Weiteres erzeugen lassen.

- 35 Die exakte Stärke bzw. Intensität der einzelnen Spektrallinien des Linienspektrums des Pulslasers 20 kann problemlos und mit hoher Genauigkeit bis zu Frequenzen in

den Tera-Hertz-Bereich mit Hilfe eines sogenannten Autokorrelators gemessen werden, der ebenfalls kommerziell erhältlich ist. Die Spektrallinienstärken werden dabei durch die Fouriertransformierte der Autokorrelation der optischen Pulse gebildet.

Der Frequenzgang des elektrooptischen Bauelements 60 wird nun wie folgt bestimmt: Das elektrooptische Bauelement 60 wird nacheinander jeweils mit einem Messsignal  $S_{\text{mess}}$  mit der Frequenz  $f_{\text{mess}}$

$$f_{\text{mess}} = m * f_p + \Delta f \quad (m = 1, 2, \dots; \Delta f = \text{const.})$$

angesteuert, wobei  $\Delta f$  einen vorgegebenen, konstanten Frequenzversatz bezeichnet.

Das elektrooptische Bauelement 60 erzeugt dann bei der jeweiligen Frequenz  $f_{\text{mess}}$  ein optisches Ausgangssignal  $S_{\text{aus}}$  mit der Intensität  $D_m$ , wobei die Größe  $D_m$  das zu bestimmende Frequenzverhalten des elektrooptischen Bauelements 60 bei der Messfrequenz  $f_{\text{mess}}$  beschreibt.

Die optischen Pulse des Pulslasers 20 sowie das optische Ausgangssignal  $S_{\text{aus}}$  des elektrooptischen Bauelements 60 werden nun über die Lichtwellenleiter 30 und 55 in den nichtlinearen Kristall 40 eingestrahlt, so dass es zu einer Mischung bzw. Frequenzmischung der Signale kommt. Es bildet sich dann ein Mischsignal  $M$ , das folgende Modulation  $Mod$  aufweist:

$$Mod = \sum_n I_n D_m ([n - m] f_p + \Delta f)$$

Das erzeugte Mischsignal  $M$  wird mit dem Fotodetektor 50 unter Bildung eines Photodetektorsignals  $M'$  gemessen. An den Fotodetektor 50 ist ausgangsseitig eine HF-Messeinrichtung 100 mit einem Filter 110 und einer Auswerteeinrichtung 120 angeschlossen. Das Filter 110 lässt lediglich die Frequenz  $\Delta f$ , also die dem Frequenzversatz entsprechende Frequenz



durch. Die übrigen Frequenzen, beispielsweise die Frequenz  $f_p$  bzw. Vielfache von dieser Frequenz jedoch nicht. Von der Modulation „Mod“ bleibt also nur der Anteil für  $n=m$  übrig, so dass von der Auswerteeinrichtung 120 der HF-Messeinrichtung 100 nur das Mischprodukt  $M''$  mit dem vorgegebenen Frequenzversatz  $\Delta f$  als Modulationsfrequenz detektiert bzw. verwertet wird.

Am Ausgang des Filters 110 der HF-Messeinrichtung 100 erhält man also das Mischprodukt  $M''$ , das als Frequenz den vorgegebenen Frequenzversatz  $\Delta f$  aufweist und dessen Betrag proportional zu der Intensität  $I_m \cdot D_m$  ist. Da - wie oben erläutert - die Spektrallinienstärken des Puls lasers 20 und damit der Faktor  $I_m$  bereits durch die Autokorrelationsmessung bestimmt wurde, kann die Größe  $D_m$  bis auf den Proportionalitätsfaktor  $A$  aus dem gefilterten Mischprodukt  $M''$  unmittelbar bestimmt werden gemäß

$$D_m \cdot A = (A \cdot I_m \cdot D_m) / I_m$$

Wird diese Messung nun für alle Werte von  $m$  durchgeführt, für die die Messfrequenz  $f_{\text{mess}}$  innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbandes liegt, so erhält man für dieses vorgegebene Frequenzband den kompletten Frequenzgang des elektrooptischen Bauelements 60.

Als elektrooptische Bauelemente 60 können verschiedenste Komponenten wie beispielsweise Laserdioden, Leuchtdioden und Laser-Modulator-Einheiten charakterisiert werden.

In der Figur 2 ist eine Abwandlung der Anordnung gemäß der Figur 1 gezeigt. Man erkennt zusätzlich zu den bereits im Zusammenhang mit der Figur 1 erläuterten Komponenten ein erste Phasenlagemesseinrichtung 200, die eingangsseitig an den Ausgang der Hochfrequenzquelle 10 und an den Ausgang der zweiten Hochfrequenzquelle 70 angeschlossen ist. Ausgangsseitig ist die erste Phasenlagemesseinrichtung 200 an einen Eingang E210a einer zweiten

Phasenlagemesseinrichtung 210 angeschlossen, deren anderer Eingang E210b mit dem Ausgang des Filters 110 in Verbindung steht.

5 Mit der zweiten Phasenlagemesseinrichtung 210 wird zusätzlich der Phasengang des elektrooptischen Bauelements 60 gemessen. Hierzu wird mit der ersten Phasenlagemesseinrichtung 200 ein Phasensignal PL1 erzeugt, das die Phasenlage  $\Delta\Phi_1$  zwischen dem Ansteuersignal SA des  
10 Pulslasers 20 und dem elektrischen Messsignal Smess angibt.

Mit der zweiten Phasenlagemesseinrichtung 210 wird die Phasenlage  $\Delta\Phi_2$  zwischen dem erzeugten Phasensignal PL1 und der Phasenlage  $\Delta\Phi_m$  des ausgefilterten Mischprodukts M'' für  
15 jede der Messfrequenzen fmess jeweils unter Bildung eines Phasenmesswertes  $\Delta\Phi_{ges}(f_{mess})$  gemessen. Die Phasenmesswerte  $\Delta\Phi_{ges}(f_{mess})$  geben den Phasengang des elektrooptischen Bauelements 60 an.

20 Die Phasenmesswerte  $\Delta\Phi_{ges}$  werden von der zweiten Phasenlagemesseinrichtung 210 zur Auswerteeinrichtung 120 übertragen und dort ausgewertet bzw. weiterverarbeitet.

Mit den Anordnungen gemäß den Figuren 1 und 2 kann  
25 beispielsweise auch ein elektrooptische Bauelement 60 charakterisiert werden, das durch eine Lichtquelle, z. B. einen CW-Laser, und einen Modulator gebildet ist. Da in der Regel der CW-Laser weniger frequenzabhängig sein wird als der Modulator, wird das Mischprodukt M'' am Ausgang der  
30 Filters 110 im wesentlichen nur den Frequenzgang des Modulators beschreiben.

In der Figur 3 erkennt man als ein drittes Ausführungsbeispiel eine weitere Abwandlung der Anordnung  
35 gemäß der Figur 1. Es lässt sich in der Figur 3 erkennen, dass das zu charakterisierende elektrooptische Bauelement 60 durch eine Lichtquelle 61, z. B. einen CW-Laser, und einen Modulator 62 gebildet ist.

Der Modulator 62 des elektrooptischen Bauelements 60 ist über einen dritten Lichtwellenleiter 300 mit einem opto-elektrischen Wandler 400 verbunden, bei dem es sich  
5 beispielsweise um einen Fotodetektor handeln kann. Das von dem elektrooptischen Bauelement 60 generierte optische Ausgangssignal  $S_{aus}$  gelangt über den dritten Lichtwellenleiter 300 somit außerdem zu dem opto-elektrischen Wandler 400, der das Ausgangssignal  $S_{aus}$  unter  
10 Bildung eines Messsignals bzw. Wandler Signals  $M_2$  misst und das Messsignal  $M_2$  zu dem HF-Messsystem 120 überträgt.

Das HF-Messsystem 120 misst nun mittels des Fotodetektors 50 zunächst das Frequenzverhalten des elektrooptischen  
15 Bauelements 60. Anschließend wird dann in dem HF-Messsystem 120 das elektrische Messsignal  $M_2$  des opto-elektrischen Wandlers 400 ausgewertet, so dass auch der Frequenzgang des opto-elektrischen Wandlers 400 messtechnisch erfasst wird. Dabei wird das Frequenzverhalten bzw. der Frequenzgang des  
20 elektrooptischen Bauelements 60 berücksichtigt, da das Messsignal  $M_2$  eine Art „Überlagerung“ des Frequenzganges des elektrooptischen Bauelements 60 und des Frequenzganges des opto-elektrischen Wandlers 400 wiedergibt. Dadurch, dass zunächst das Frequenzverhalten des elektrooptischen  
25 Bauelements 60 ermittelt wird, kann dieses von dem HF-Messsystem 120 aus dem Messsignal  $M_2$  „herausgerechnet“ werden, so dass sich trotz der „Überlagerung“ allein der Frequenzgang des opto-elektrischen Wandlers 400 bestimmen lässt.

30

Mit dem Fotodetektor 50 und dem Filter 110 wird - wie oben ausgeführt - der Frequenzgang des elektrooptischen Bauelements 60 bestimmt. Da in der Regel der CW-Laser 61 weniger frequenzabhängig sein wird als der Modulator 62,  
35 wird das Mischprodukt  $M''$  am Ausgang der Filters 110 im wesentlichen den Frequenzgang des Modulators 62 beschreiben.

Im Übrigen kann auch der Phasengang des opto-elektrischen Wandlers 400 gemessen werden, indem zumindest eine zusätzliche Phasenlagemesseinrichtung eingesetzt wird, die die Phasenlage zwischen dem Mischprodukt  $M''$  und dem elektrischen Messsignal M2 des opto-elektrischen Wandlers 400 oder aber zwischen dem Phasensignal PL1 - wie im Zusammenhang mit der Figur 2 erläutert - und dem elektrischen Messsignal M2 des opto-elektrischen Wandlers 400 misst und das jeweilige Messsignal zu der Auswerteeinrichtung 120 überträgt. Die „zusätzliche“ Phasenlagemesseinrichtung ist in der Figur 3 der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.

**Bezugszeichenliste**

10	Erste Hochfrequenzquelle
20	Pulslaser
30	Erster Lichtwellenleiter
40	Nichtlineares Kristall
50	Fotodetektor
55	Zweiter Lichtwellenleiter
60	Elektrooptisches Bauelement
61	CW-Laser
62	Modulator
70	Hochfrequenzquelle
80	Synchronisationsleitung
100	HF-Messsystem
110	Filter
120	Auswerteeinrichtung
300	Dritter Lichtwellenleiter
400	Opto-elektrischer Wandler

**Patentansprüche**

- 5 1. Verfahren zum Bestimmen des Frequenzganges eines elektrooptischen Bauelements (60) innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbandes, bei dem
- 10 - optische Pulse mit einer ersten optischen Trägerfrequenz und mit einer vorgegebenen Pulsfrequenz (fp) erzeugt werden,
  - das elektrooptische Bauelement (60) mit einem elektrischen Messsignal (S<sub>mess</sub>) mit einer vorgegebenen Messfrequenz (f<sub>mess</sub>) derart angesteuert wird, dass ein mit der Messfrequenz (f<sub>mess</sub>) moduliertes, optisches
  - 15 Ausgangssignal (S<sub>aus</sub>) mit einer vorgegebenen zweiten optischen Trägerfrequenz gebildet wird, wobei die Messfrequenz (f<sub>mess</sub>) ein ganzzahliges Vielfaches der Pulsfrequenz (fp) zuzüglich eines vorgegebenen Frequenzversatzes ( $\Delta f$ ) beträgt,
  - 20 - die Pulse und das Ausgangssignal (S<sub>aus</sub>) einer gemeinsamen Frequenzmischung unterzogen werden und von den bei der Frequenzmischung gebildeten Mischprodukten zumindest ein Mischprodukt (M'') detektiert wird, dessen Modulationsfrequenz dem vorgegebenen
  - 25 Frequenzversatz ( $\Delta f$ ) entspricht,
  - das Frequenzverhalten des elektrooptischen Bauelements (60) bei der Messfrequenz (f<sub>mess</sub>) anhand der Intensität, insbesondere der Leistung, der Amplitude oder des Effektivwerts, des detektierten Mischprodukts
  - 30 (M'') ermittelt wird und
  - das Frequenzverhalten des elektrooptischen Bauelements (60) in der beschriebenen Weise für alle Messfrequenzen (f<sub>mess</sub>) bestimmt wird, die einem ganzzahligen Vielfachen der Pulsfrequenz (fp) zuzüglich des
  - 35 vorgegebenen Frequenzversatzes ( $\Delta f$ ) entsprechen und die innerhalb des vorgegebenen Frequenzbandes liegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass von den Mischprodukten ausschließlich diejenigen ( $M''$ ) detektiert werden, die als optische Trägerfrequenz die Summenfrequenz aus der ersten und der zweiten optischen  
5 Trägerfrequenz aufweisen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass von den Mischprodukten ausschließlich diejenigen detektiert werden, die als optische Trägerfrequenz die  
10 Differenzfrequenz aus der ersten und der zweiten optischen Trägerfrequenz aufweisen.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgegebene Frequenzversatz ( $\Delta f$ )  
15 einen positiven oder einen negativen Betrag aufweist.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Spektrallinienstärken der optischen Pulse vorab bestimmt werden und diese beim  
20 Ermitteln des Frequenzverhaltens des elektrooptischen Bauelements (60) berücksichtigt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ermitteln des Frequenzverhaltens des elektrooptischen  
25 Bauelements (60) von den vorab bestimmten Spektrallinienstärken der optischen Pulse die Spektrallinienstärke jeweils derjenigen . Spektrallinie berücksichtigt wird, deren Spektrallinienfrequenz der Differenzfrequenz zwischen der jeweiligen Messfrequenz  
30 ( $f_{\text{mess}}$ ) und dem vorgegebenen Frequenzversatz ( $\Delta f$ ) entspricht.

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vorab bestimmten  
35 Spektrallinienstärken ermittelt werden, indem die Spektralleistung der Spektrallinien der optischen Pulse, insbesondere mit einem Autokorrelator, vorab bestimmt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bestimmen des Frequenzverhaltens des elektrooptischen Bauelements (60) ein die Intensität des ausgewählten Mischprodukts ( $M''$ ) angegebender Mischproduktintensitätswert ( $I_m \cdot D_m$ ) unter Bildung eines Frequenzgangwertes ( $D_m$ ) des elektrooptischen Bauelements (60) durch einen Spektrallinienwert ( $I_m$ ) geteilt wird, der die Spektrallinienstärke der zum ausgewählten Mischprodukt ( $M''$ ) gehörenden Spektrallinie der optischen Pulse angibt.
9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bilden der optischen Mischprodukte ( $M$ ) ein nichtlineares Element (40) eingesetzt wird, durch das die optischen Pulse und das optische Ausgangssignal ( $S_{aus}$ ) hindurchgestrahlt werden.
10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bilden und/oder Detektieren der optischen Mischprodukte ein 2-Photonendetektor eingesetzt wird.
11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bilden und/oder Detektieren der optischen Mischprodukte ein optischer Gleichrichter, insbesondere ein nichtlinearer Kristall, eingesetzt wird.
12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messfrequenz gemäß folgender Bestimmungsgleichung berechnet wird:

$$f_{mess} = m \cdot f_p + \Delta f$$

wobei  $f_{mess}$  die Messfrequenz,  $\Delta f$  den Frequenzversatz und  $f_p$  die Pulsfrequenz bezeichnen.



13. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgegebene Frequenzversatz ( $\Delta f$ ) variabel vorgegeben wird.

5 14. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Frequenzgang eines aus einer Lichtquelle (61) und einem nachgeordneten elektrooptischen Modulator (62) gebildeten elektrooptischen Bauelements (60) bestimmt wird.

10

15. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass gleichzeitig der Frequenzgang eines optoelektrischen Wandlers (400) innerhalb des vorgegebenen Frequenzbandes bestimmt wird, indem

15

- das von dem elektrooptischen Bauelement (60) erzeugte optische Ausgangssignal ( $S_{aus}$ ) in den optoelektrischen Wandler (400) eingestrahlt wird,

- ein vom dem optoelektrischen Wandler (400) erzeugtes elektrisches Wandlersignal ( $S_2$ ) unter Bildung eines Wandlermesswertes gemessen wird und

20

- unter Heranziehung des Wandlermesswertes und des gemessenen Frequenzganges des elektrooptischen Bauelements (60) der Frequenzgang des optoelektrischen Wandlers (400) bestimmt wird.

25

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Frequenzgang des optoelektrischen Wandlers (400) bestimmt wird, indem der Wandlermesswert durch einen Frequenzgangwert ( $D_m$ ) des elektrooptischen Bauelements (60) geteilt wird.

30

17. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulsfrequenz ( $f_p$ ) der optischen Pulse mit einer ersten Hochfrequenzquelle, insbesondere einem Pulsgenerator (10), und das Messsignal ( $S_{mess}$ ) mit einer zweiten Hochfrequenzquelle, insbesondere einem Sinusgenerator (70), erzeugt werden, wobei die beiden

35

Hochfrequenzquellen (10,70) gekoppelt, insbesondere phasenstarr gekoppelt, sind.

18. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich der Phasengang des elektrooptischen Bauelements (60) gemessen wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Phasensignal (PL1) erzeugt wird, das die Phasenlage ( $\Delta\Phi 1$ ) zwischen dem Ansteuersignal (SA) eines die optischen Pulse erzeugenden Puls lasers (20) und dem elektrischen Messsignal angibt,
- die Phasenlage zwischen dem erzeugten Phasensignal (PL1) und der Phasenlage des detektierten Mischprodukts ( $M''$ ) für jede der Messfrequenzen ( $f_{\text{mess}}$ ) jeweils unter Bildung eines Phasenmesswertes ( $\Delta\Phi 2$ ) gemessen wird.

20. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich der Phasengang des opto-elektrischen Wandlers (400) gemessen wird.

21. Anordnung mit einem Puls laser (20), einem elektrooptischen Bauelement (60) und einer Messeinrichtung (100) mit einer Auswerteeinrichtung (120), die geeignet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

FIG 1

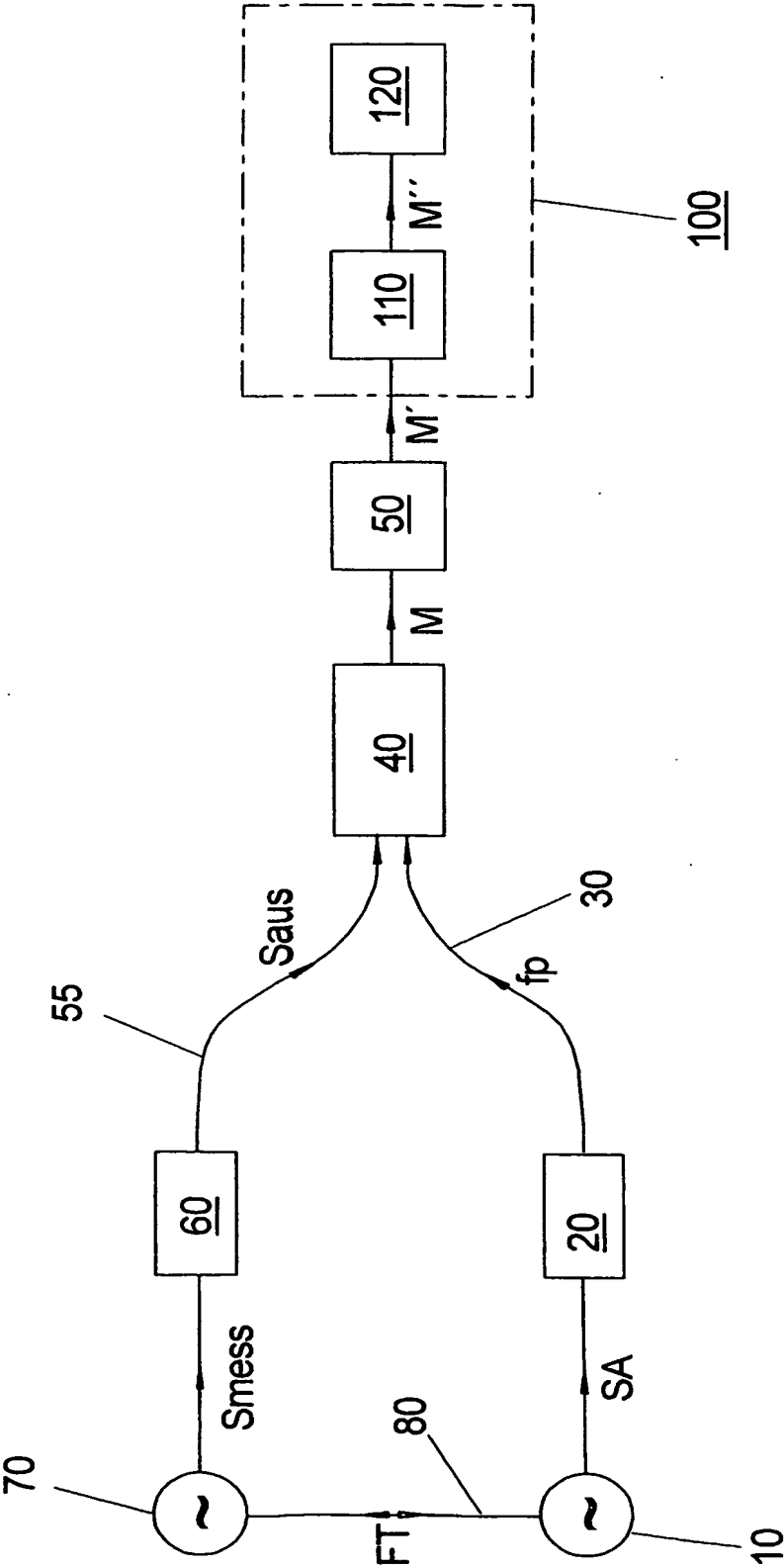


FIG 2

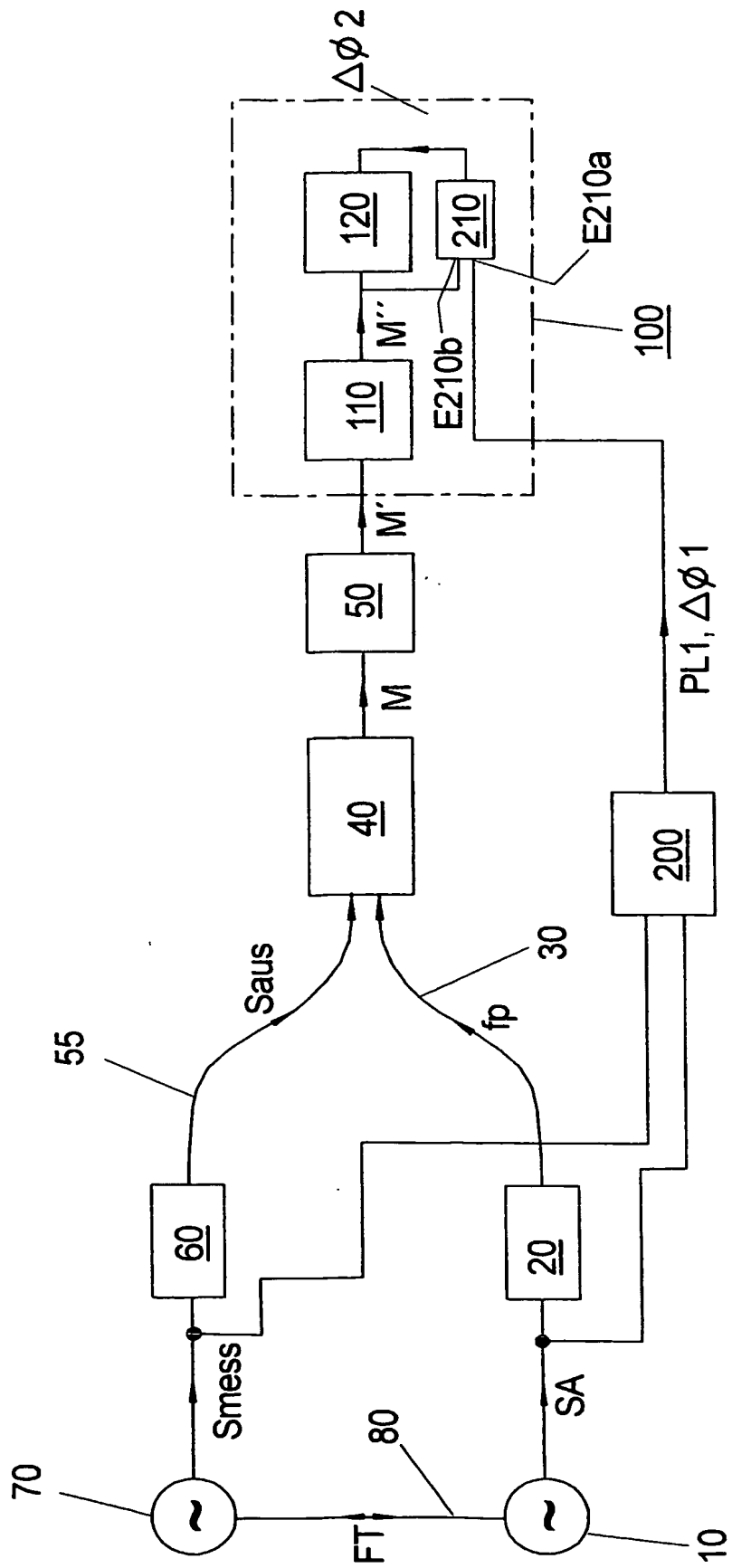


FIG 3

